饲料脂肪水平对大口黑鲈形体指标、组织脂肪酸组成、血清生化指标及肝脏抗氧化性能的影响[1]

朱婷婷　金　敏　孙　蓬　李晨晨　马红娜　罗嘉翔　袁　野　周歧存*

（宁波大学海洋学院鱼类营养研究室，宁波 315211）

摘　要：为探讨饲料脂肪水平对大口黑鲈形体指标、组织脂肪酸组成、血清生化指标和肝脏抗氧化指标的影响，以平均体质量为(4.12±0.02) g 的大口黑鲈为研究对象，进行 8 周的饲养试验。将 270 尾试验鱼随机分成 3 组，每组 3 个重复，每个重复 30 尾鱼。以鱼油、豆油、大豆卵磷脂为脂肪源，配制脂肪水平分别为 5.76%、11.05%、17.65%的试验饲料。结果显示：1)饲料脂肪水平对大口黑鲈肥满度、肝体比的影响不显著(P>0.05)；脂体比随着饲料脂肪水平的升高而上升，17.65%脂肪组显著高于 5.76%脂肪组(P<0.05)；脏体比随着饲料脂肪水平的升高先升高后下降，以 11.05%脂肪组最高，显著高于 5.76%和 17.65%脂肪组(P<0.05)。2)5.76%脂肪组肌肉多不饱和脂肪酸（PUFA）和 n-6 高不饱和脂肪酸(HUFA)比例显著低于 11.05%和 17.65%脂肪组(P<0.05)，而 n-3 HUFA/n-6 HUFA 显著高于 11.05%和 17.65%脂肪组(P<0.05)；5.76%脂肪组肝脏 n-3 HUFA 比例显著高于 17.65%脂肪组(P<0.05)，n-3 HUFA/n-6 HUFA 显著高于 11.05%和 17.65%脂肪组(P<0.05)，而 n-6 HUFA 比例显著低于 11.05%和 17.65%脂肪组(P<0.05)。3)饲料脂肪水平由 5.76%升高到 11.05%或 17.65%，大口黑鲈血清中碱性磷酸酶活性以及总胆固醇、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白含量均显著升高(P<0.05)，而谷丙转氨酶活性则显著下降(P<0.05)，但上述指标在 11.05%和 17.65%脂肪组之间均没有显著差异(P>0.05)。11.05%脂肪组大口黑鲈血清中甘油三酯含量显著高于 5.76%和 17.65%脂肪组(P<0.05)。4)饲料脂肪水平对大口黑鲈肝脏超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、碱性磷酸酶(AKP)、谷丙转氨酶(ALT)活性及丙二醛(MDA)含量的影响均不显著(P>0.05)，但 11.05%脂肪组肝脏过氧化氢酶(CAT)活性显著高于其他 2 组(P<0.05)，而 17.65%脂肪组肝脏谷草转氨酶(AST)活性显著高于其他 2 组(P<0.05)。由此得出，饲料脂肪水平能够影响大口黑鲈的脂肪沉积，改

收稿日期：2017-07-11

基金项目：国家自然科学基金项目(31272670)；宁波市农业科技攻关重大项目(2012C10025)；国家科技部星火重大计划项目(2014GA701001)；浙江省重中之重一级学科（水产）开放基金

作者简介：朱婷婷(1993-)，女，浙江温州人，硕士研究生，从事水生动物营养与饲料研究。E-mail: 648294230@qq.com

*通信作者：周歧存，教授，博士生导师，E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn

变大口黑鲈组织脂肪酸组成，并且通过影响血清中高密度脂蛋白和低密度脂蛋白含量，改变大口黑鲈对脂肪的转运和利用的能力。

关键词：大口黑鲈；脂肪水平；形体指标；脂肪酸组成；血清生化指标；抗氧化指标

中图分类号：S963　　　　　　　文献标识码：A　　　　　　　文章编号：

大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)，属鲈形目(Perciformes)，鲈亚目(Porcoidei)，太阳鱼科(Cehtrachidae)，黑鲈属(*Micropterus*)，原产于北美洲，是一种世界性的游钓鱼类。大口黑鲈根据形态学和原产地的地理分布方面的不同，被分为 2 个亚种：大口黑鲈北方亚种(*M. salmoides salmoides*)和大口黑鲈佛罗里达亚种(*M. salmoidesfloridanus*)[1]。大口黑鲈是一种生长快、抗病力强、肉质鲜美、耐低温、营养较为丰富的名贵肉食性鱼类[2-3]，20 世纪 70 年代末，我国台湾省从国外引进此鱼，并在 1983 年成功进行人工繁殖，同年引入广东省，经过多年的养殖发展，已成为国内重要的淡水养殖品种之一[4]。近年来，我国大口黑鲈的年产量保持在 10 万 t 以上，其中，大口黑鲈的主要养殖区域在广东省，年产量是国内总产量的 75%[5]。

脂肪作为三大营养素之一，是鱼类重要的能源物质，对生长起着重要的作用[6-7]。饲料中缺乏脂肪或脂肪提供量不足，会引起必需脂肪酸和脂溶性维生素的缺乏，而鱼类自身又不能合成必需脂肪酸，就会造成鱼类生长缓慢、抗病力低[8-11]，还会使代谢紊乱，最终导致鱼类消耗饲料蛋白质作为生长所需的能量[8]。因此，饲料中添加适宜的脂肪可以起到促进鱼类生长、节约蛋白质的作用。然而，饲料中脂肪水平过高也会使代谢系统紊乱、机体组织器官受损[12-13]、机体内脂肪酸重新合成受到抑制，从而影响水产动物的发育和免疫应答[14-15]。

脂类在鱼体内消化吸收后，会以甘油三酯的形式储存在肠道、肌肉、肝脏等组织内[16]。脂肪及脂肪酸的积累会对鱼体内的各组织器官产生不利影响，如作为脂肪代谢主要器官的肝脏，过量的脂肪积累会形成脂肪肝。一般情况下，饲料中含有的脂肪越多，在肝脏中积累的脂肪越多。

目前，大口黑鲈饲料在蛋白质和氨基酸方面的研究[17-20]较多，而对脂肪及脂肪酸的研究较少。基于此，本试验在已有研究的基础上，设计 3 个脂肪水平(5.76%、11.05%、17.65%)，研究饲料脂肪水平对大口黑鲈形态学、组织脂肪酸组成、血液指标及肝脏抗氧化指标的影响，从而为大口黑鲈资源节约型配合饲料的研制提供基础数据和理论参考。

1　材料与方法

1.1　试验饲料

本试验以白鱼粉、豆粕、小麦蛋白粉、小麦粉为蛋白质源，鱼油、豆油、大豆卵磷脂为脂肪

源，配制脂肪水平分别为5.76%、11.05%、17.65%的3种等氮试验饲料，试验饲料组成及营养水平见表1，试验饲料的脂肪酸组成见表2。

表1　试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%		
	5.76	11.05	17.65
白鱼粉 White fish meal	36.00	36.00	36.00
豆粕 Soybean meal	22.00	22.00	22.00
小麦蛋白粉 Wheat gluten meal	10.00	10.00	10.00
小麦粉 Wheat flour	13.35	13.35	13.35
鱼油 Fish oil	0.45	2.45	4.45
豆油 Soybean oil	0.90	4.90	8.90
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	1.00	1.00	1.00
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	1.50	1.50	1.50
氯化胆碱 Chorine chloride	0.30	0.30	0.30
矿物质预混料 Mineral premix1)	2.00	2.00	2.00
维生素预混料 Vitamin premix1)	0.50	0.50	0.50
纤维素 Cellulose	12.00	6.00	0.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels2)			
干物质 Dry matter	89.65	90.39	91.06
粗蛋白质 Crude protein	47.12	47.02	47.23
粗脂肪 Crude lipid	5.76	11.05	17.65
粗灰分 Ash	11.43	11.75	11.80
总能 Gross energy/(MJ/kg)	15.69	17.76	20.41

1)矿物质预混料和维生素预混料参照Mai等[24]配制。Mineral premix and vitamin premix were prepared according to Mai, et al[24].

2)总能为计算值，其他营养水平为实测值。Gross energy was a calculated value, while the other nutrient levels were measured values.

表 2　试验饲料脂肪酸组成（占总脂肪酸的百分比）

Table 2　Fatty acid composition of experimental diets (percentage of total fatty acids)　　%

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%		
	5.76	11.05	17.65
C14:0	2.11	2.32	2.25
C16:0	19.79	19.02	17.85
C16:1n-7	3.10	3.05	2.80
C18:0	4.77	5.29	5.20
C18:1n-9	18.84	20.60	21.66
C18:2n-6	26.35	29.77	32.50
C18:3n-6	0.12	0.15	0.11
C18:3n-3	2.65	3.12	3.41
C18:4n-3	0.67	0.56	0.49
C20:0	0.23	0.45	0.41
C20:1n-9	4.46	3.10	2.56
C20:2n-6	0.23	0.16	0.19
C20:4n-6	0.57	0.49	0.42
C20:5n-3 (EPA)	5.50	4.30	3.49
C22:0	0.19	0.21	0.30
C22:1n-9	0.74	0.32	0.50
C22:5n-6	0.28	0.23	0.27
C22:5n-3	0.58	0.58	0.48
C24:0	0.16	0.16	0.15
C22:6n-3 (DHA)	8.67	6.14	5.00
饱和脂肪酸 SFA	27.25	27.45	26.16
单不饱和脂肪酸 MUFA	27.14	27.07	27.52
多不饱和脂肪酸 PUFA	45.62	45.50	46.36
n-3 高不饱和脂肪酸 n-3 HUFA	18.07	14.70	12.87
n-6 高不饱和脂肪酸 n-6 HUFA	27.55	30.80	33.49
n-3 高不饱和脂肪酸/n-6 高不饱和脂肪酸 n-3 HUFA/n-6 HUFA	0.66	0.48	0.38
DHA/EPA	1.58	1.43	1.43

将所有原料粉碎后，过 80 目筛，按照表 1 的配方准确称重，并混合均匀，其中维生素和矿物质预混料等微量添加成分采取逐级稀释法混合均匀，之后加入适量的水，用搅拌机均匀混合后，压制成粒径分别为 1.5 和 2.0 mm 的颗粒饲料。在烘箱中 90 ℃熟化 30 min，取出阴干至水分为 10%左右，放入封口袋中，置于-20 ℃冰箱中保存。

1.2 饲养管理

试验用大口黑鲈幼苗购自湖州南浔和孚鸿浩水产家庭农场，在宁波大学海洋学院鱼类营养研究室养殖车间内进行养殖试验。在试验前，大口黑鲈幼苗用商业饲料驯化 2 周。暂养 2 周后，饥饿 24 h，挑选个体大小一致、健康无病的初始体质量为（4.12±0.02） g 大口黑鲈幼鱼 270 尾，随机分在 9 个 300 L 的养殖桶里，每个桶 30 尾鱼。每种饲料随机投喂 3 个养殖桶，每天投喂 2 次，时间分别为 08:00 和 18:00，每次投喂量为体质量的 3%~4%。每天换水量为 50%，试验中记录投喂量和死亡情况，及时捞出死鱼并称重记录。每 2 周称 1 次体质量，并根据体质量调整投饵量。养殖周期为 8 周，在此期间，水温为 22.2~31.0 ℃，溶解氧浓度在 6.0 mg/L 以上，pH 为 7.5~8.0。

1.3 样品采集

养殖试验结束后，饥饿 24 h，将试验鱼用丁香酚(1:10 000)麻醉后，每个养殖桶随机取 3 尾鱼，测量其体质量、体长，解剖取内脏，分离肝脏和腹腔脂肪，分别称重，用来计算肝体比(HSI)、脏体比(VSI)、脂体比(IPF)及肥满度（CF）。每个养殖桶另随机取 6 尾鱼，从尾静脉采血于 1.5 mL 离心管内，于 4 ℃冰箱中静置过夜，3 500 r/min 离心 10 min 制得上清液，放置在-80 ℃冰箱中保存备用。将采过血的鱼解剖，取其肝脏于 2.0 mL 离心管内，用于抗氧化指标及脂肪酸组成的测定；剥离其背部侧线以上的肌肉于 4.0 mL 离心管内，用于肌肉脂肪酸组成的测定。

1.4 测定方法

饲料常规营养成分分析：参照 AOAC(1995)方法，采用 105 ℃恒干恒重法测定水分含量；采用脂肪测定仪(SX360)测定粗脂肪含量，其原理是索氏抽提法；采用蛋白质测定仪(Leco FB-528)测定粗蛋白质含量，其原理是热导吸收法；采用马弗炉 550 ℃焚烧失重法测定粗灰分含量，个别方法有改进。

血清指标分析：谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、碱性磷酸酶(ALP)的活性及葡萄糖(GLU)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)、总蛋白（TP）含量采用生化分析仪(Pro-M)测定。

脂肪酸组成分析：将肌肉和肝脏冷冻干燥 48 h，在氯仿-甲醇溶液中抽提脂肪进行前处理后，送到中国科学院宁波材料技术与工程研究所测试中心，使用气相-质谱仪(GCMS-QP2010 Plus，SHIMADZU)进行脂肪酸的甲酯化，用面积归一法求得各类脂肪酸的相对百分含量。

肝脏抗氧化指标分析：谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、过氧化氢酶(CAT)、碱性磷酸酶(AKP)的活性以及丙二醛(MDA)的含量均采用南京建成工程生物研究所生产的试剂盒进行测定。

1.5 计算公式

肥满度(g/cm^3)=100×W/L^3；

脏体比(%)=100×W_v/W；

脂体比(%)=100×W_l/W；

肝体比(%)=100×W_h/W。

式中：W 表示鱼体质量(g)；L 表示鱼体长(cm)；W_v 表示内脏重；W_l 表示腹腔脂肪重；W_h 表示肝脏重(g)。

1.6 数据处理及分析

数据先用 Excel 2007 处理，然后采用 SPSS 16.0 软件进行分析。试验结果进行单因素方差分析(one-way ANOVA)，差异显著时，用 Turkey 法多重检验分析，P<0.05 为差异显著。结果用平均值±标准差(mean±SD)表示。

2 结果与分析

2.1 饲料脂肪水平对大口黑鲈形体指标的影响

饲料脂肪水平对大口黑鲈形体指标的影响见表 3。饲料脂肪水平对大口黑鲈的肝体比和肥满度没有产生显著影响(P>0.05)，其中肝体比有随着饲料脂肪水平的升高而升高的趋势，以 17.65%脂肪组最高。脂体比随着饲料脂肪水平的升高上升，17.65%脂肪组显著高于 5.76%脂肪组(P<0.05)；脏体比随着饲料脂肪水平的升高先升高后下降，以 11.05%脂肪组最高，显著高于 5.76%和 17.65%脂肪组(P<0.05)。

表 3 饲料脂肪水平对大口黑鲈形体指标的影响

Table 3 Effects of dietary lipid level on morphology indexes of largemouth bass (n=3) %

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%		
	5.76	11.05	17.65
脏体比 VSI/%	6.67±1.03^a	8.62±2.03^b	7.98±1.29^{ab}
肝体比 HSI/%	1.06±0.24	1.15±0.42	1.23±0.35
肥满度 CF/(g/cm^3)	1.97±0.42	1.83±0.12	1.93±0.27
脂体比 IPF/%	0.41±0.17^a	0.64±0.39^{ab}	1.10±0.73^b

同行数据肩标无字母或相同小写字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

In the same row, values without letter or with the same small letter superscripts indicated no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts indicated significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2 饲料脂肪水平对大口黑鲈组织脂肪酸组成的影响

饲料脂肪水平对大口黑鲈肌肉脂肪酸组成的影响见表 4。相关性分析表明大口黑鲈肌肉脂肪酸的组成与饲料脂肪酸的组成存在正相关关系，肌肉中 DHA 的比例及 n-3 高不饱和脂肪酸（HUFA）/n-6 HUFA、C22:6n-3（DHA）/C20:5n-3（EPA）随着饲料脂肪水平的升高而表现出下降的趋势，与饲料中三者的变化趋势相一致，均以 5.76%脂肪组最高。随着饲料脂肪水平的升高，肌肉中饱和脂肪酸（SFA）的比例下降，而多不饱和脂肪酸（PUFA）的比例上升。n-6 HUFA 的比例随着饲料脂肪水平的升高而显著上升(P<0.05)，这也与饲料中 n-6 HUFA 的变化趋势相一致。

表 4　饲料脂肪水平对大口黑鲈肌肉脂肪酸组成的影响（占总脂肪酸的百分比）

Table 4　Effects of dietary lipid levels on fatty acid composition in muscle of largemouth bass (percentage of total fatty acids, n=3)　　%

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%		
	5.76	11.05	17.65
C14:0	1.42±0.10	1.26±0.10	1.11±0.21
C16:0	23.85±0.45^{b}	21.91±1.06^{a}	20.13±0.59^{a}
C16:1n-7	2.44±0.13^{b}	2.00±0.15^{a}	1.93±0.08^{a}
C16:4n-3	0.24±0.01	0.24±0.04	0.27±0.02
C18:0	6.98±0.44	7.92±0.44	7.86±0.47
C18:1n-9	19.66±0.35^{b}	17.56±0.68^{a}	18.05±0.58^{a}
C18:2n-6	18.18±1.17^{a}	22.59±1.09^{b}	25.54±0.90^{c}
C18:3n-6	0.30±0.08	0.31±0.03	0.31±0.05
C18:3n-3	1.57±0.57	1.58±0.17	1.65±0.46
C18:4n-3	0.31±0.05	0.31±0.17	0.27±0.04
C20:0	0.20±0.08	0.22±0.04	0.26±0.03
C20:1n-9	2.48±0.09	1.82±0.24	1.88±0.47
C20:2n-6	0.74±0.05^{a}	0.83±0.04^{ab}	0.97±0.09^{b}
C20:3n-6	0.36±0.10	0.35±0.02	0.35±0.06
C20:4n-6	1.07±0.17	1.19±0.10	1.40±0.23
C20:3n-3	0.22±0.03	0.24±0.06	0.25±0.06
C20:5n-3 (EPA)	1.65±0.09	1.85±0.13	1.74±0.11
C22:1n-9	0.20±0.06	0.2±0.02	0.21±0.09

C22:5n-6	0.46±0.04^{a}	0.52±0.02^{ab}	0.64±0.08^{b}
C22:5n-3	1.50±0.08	1.64±0.06	1.51±0.26
C22:6n-3 (DHA)	15.90±0.41^{b}	15.45±0.88^{ab}	13.95±0.71^{a}
饱和脂肪酸 SFA	32.46±0.56^{b}	31.31±1.42^{ab}	29.36±0.84^{a}
单不饱和脂肪酸 MUFA	24.79±0.41^{b}	21.59±0.93^{a}	22.07±0.94^{a}
多不饱和脂肪酸 PUFA	42.50±0.73^{a}	47.11±1.31^{b}	48.85±0.41^{b}
n-3 高不饱和脂肪酸 n-3 HUFA	21.39±0.56	21.31±1.09	19.65±0.82
n-6 高不饱和脂肪酸 n-6 HUFA	21.11±1.06^{a}	25.80±0.96^{b}	29.80±0.71^{c}
n-3 高不饱和脂肪酸/n-6 高不饱和脂肪酸 n-3 HUFA/n-6 HUFA	1.01±0.07^{c}	0.83±0.06^{b}	0.67±0.04^{a}
DHA/EPA	9.63±0.49^{b}	8.34±0.14^{ab}	8.04±0.78^{a}

饲料脂肪水平对大口黑鲈肝脏脂肪酸组成的影响见表 5。相关性分析表明，大口黑鲈肝脏脂肪酸的组成与饲料、肌肉脂肪酸的组成存在正相关关系，肝脏中 DHA 比例及 n-3 HUFA/n-6 HUFA、DHA/EPA 随着饲料脂肪水平的升高而下降，而 n-6 HUFA 的比例则随着饲料脂肪水平的升高而显著上升(P<0.05)，与饲料、肌肉中这四者的变化趋势相一致，其中 5.76%脂肪组中 n-3 HUFA/n-6 HUFA 显著高于其他 2 组(P<0.05)。随着饲料脂肪水平的升高，肝脏中 SFA 的比例下降，而 PUFA 的比例上升，这也同肌肉中这两者的变化趋势相一致。

表 5 饲料脂肪水平对大口黑鲈肝脏脂肪酸组成的影响（占总脂肪酸的百分比）

Table 5 Effects of dietary lipid level on fatty acid composition in liver of largemouth bass (percentage of total fatty acids, n=3) %

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%		
	5.76	11.05	17.65
C14:0	0.9±0.08	1.05±0.24	1.5±0.39
C16:0	20.01±1.67	19.66±0.46	18.54±0.79
C16:1n-7	1.64±0.35	1.78±0.59	2.07±0.31
C18:0	13.42±0.71	12.26±2.42	10.45±0.02
C18:1n-9	12.54±0.03	13.89±1.19	14.47±0.21
C18:2n-6	10.47±0.62^{a}	13.39±0.87^{b}	19.22±0.56^{c}
C18:3n-6	0.30±0.07	0.33±0.02	0.23±0.06
C18:3n-3	0.53±0.04^{b}	0.22±0.03^{a}	1.44±0.07^{c}
C20:0	0.22±0.05^{a}	0.72±0.03^{b}	0.21±0.04^{a}
C20:1n-9	1.82±0.18	1.59±0.42	1.52±0.16
C20:2n-6	0.95±0.12	0.78±0.21	0.99±0.21
C20:3n-6	0.80±0.09^{b}	0.57±0.02^{ab}	0.32±0.16^{a}
C20:4n-6	2.42±0.19	2.43±0.54	1.98±0.40
C20:3n-3	0.18±0.02^{a}	0.26±0.01^{b}	0.28±0.04^{b}

C20:5n-3 (EPA)	1.64±0.12	1.66±0.52	1.58±0.52
C22:5n-6	0.65±0.07	0.69±0.04	0.54±0.11
C22:5n-3	0.83±0.06[a]	0.98±0.18[ab]	1.21±0.14[b]
C22:6n-3 (DHA)	29.30±1.80[b]	27.42±0.37[b]	22.47±0.83[a]
饱和脂肪酸 SFA	34.55±1.30	33.70±1.77	30.62±0.49
单不饱和脂肪酸 MUFA	16.15±0.51	17.26±1.99	18.42±0.21
多不饱和脂肪酸 PUFA	48.08±1.65	48.74±0.73	51.11±0.48
n-3 高不饱和脂肪酸 n-3 HUFA	32.49±1.68[b]	30.54±0.94[ab]	28.14±2.02[a]
n-6 高不饱和脂肪酸 n-6 HUFA	15.60±0.44[a]	18.20±0.21[b]	22.98±1.53[c]
n-3 高不饱和脂肪酸/n-6 高不饱和脂肪酸 n-3 HUFA/n-6 HUFA	2.08±0.13[c]	1.68±0.07[b]	1.23±0.17[a]
DHA/EPA	17.90±1.86	17.43±4.63	15.17±5.50

2.3 饲料脂肪水平对大口黑鲈血清生化指标的影响

饲料脂肪水平对大口黑鲈血清生化指标的影响见表 6。饲料脂肪水平对大口黑鲈血清中谷草转氨酶活性及葡萄糖、总蛋白含量没有产生显著影响(P>0.05)，其中，谷草转氨酶活性和葡萄糖含量具有随饲料脂肪水平的升高呈现先降低后升高的趋势，而总蛋白含量的趋势则是相反的。饲料脂肪水平由 5.76%升高到 11.05%或 17.65%，大口黑鲈血清中碱性磷酸酶活性以及总胆固醇、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白活性均显著升高(P<0.05)，而谷丙转氨酶活性则显著下降(P<0.05)，但上述指标在 11.05%和 17.65%脂肪组之间均没有显著差异(P>0.05)。大口黑鲈血清中甘油三酯含量随着饲料脂肪水平的升高表现为先上升再下降的趋势，11.05%脂肪组显著高于 5.76%和 17.65%脂肪组(P<0.05)。

表 6 饲料脂肪水平对大口黑鲈血清生化指标的影响

Tab.6 Effects of dietary lipid level on serum biochemical indexes of largemouth bass （n=3）

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%		
	5.76	11.05	17.65
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	120.86±4.78[b]	61.13±4.70[a]	67.89±0.28[a]
谷草转氨酶 AST/(U/L)	254.90±66.55	176.72±15.47	255.58±36.30
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	93.31±0.73[a]	119.84±2.53[b]	113.77±4.27[b]
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	6.93±2.43	4.77±1.79	5.65±1.04
总胆固醇 TC/(mmol/L)	7.19±0.17[a]	9.63±0.75[b]	10.21±0.99[b]
甘油三酯 TG/(mmol/L)	3.34±0.44[a]	4.67±0.36[b]	3.63±0.39[a]
高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	5.00±0.05[a]	6.51±0.59[b]	6.80±0.55[b]
低密度脂蛋白 LDL/(mmol/L)	2.67±0.04[a]	3.34±0.14[b]	3.79±0.34[b]
总蛋白 TP/(g/L)	35.21±1.36	40.50±3.68	38.76±4.11

2.4 饲料脂肪水平对大口黑鲈肝脏抗氧化指标的影响

饲料脂肪水平对大口黑鲈肝脏抗氧化指标的影响见表 7。饲料脂肪水平对大口黑鲈肝脏 SOD、GSH-Px、AKP、ALT 活性及 MDA 含量均没有产生显著影响(P>0.05)，其中，GSH-Px 活性和 MDA 含均随着饲料脂肪水平的升高而下降，且均以 17.65%脂肪组最低，而 AKP、ALT 活性是随着饲料脂肪水平的升高先下降再升高。大口黑鲈肝脏 CAT 活性以 11.05%脂肪组最高，显著高于 5.76%和 17.65%脂肪组(P<0.05)。大口黑鲈肝脏 AST 活性以 17.65%脂肪组最高，显著高于 5.76%和 11.05%脂肪组(P<0.05)。

表 7 饲料脂肪水平对大口黑鲈肝脏抗氧化指标的影响

Table 7 Effects of dietary lipid level on liver antioxidant indexes of largemouth bass （n=3）

项目 Items	饲料脂肪水平 Dietary lipid level/%		
	5.76	11.05	17.65
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mg prot)	199.31±23.95	201.50±11.75	200.05±18.14
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mg prot)	104.41±16.59	75.82±18.93	60.43±17.79
碱性磷酸酶 AKP/(金氏单位/g prot)	80.51±7.07	68.51±10.33	114.07±45.04
丙二醛 MDA(mmol/mg prot)	1.51±0.59	0.91±0.05	0.76±0.15
过氧化氢酶 CAT(U/mg prot)	35.57±8.09[a]	72.31±4.18[b]	43.92±12.38[a]
谷丙转氨酶 ALT/(U/g prot)	129.12±40.18	113.77±15.08	119.80±5.95
谷草转氨酶 AST/(U/g prot)	38.53±4.80[ab]	32.42±1.89[a]	41.91±3.31[b]

3 讨 论

3.1 饲料脂肪水平对大口黑鲈形体指标的影响

脂肪作为鱼类必需的营养物质，是能量的主要来源之一，对其生命活动有着重要的作用[21]，肉食性鱼类对脂肪的需求大于草食性鱼类，冷水性鱼类大于暖水性鱼类[22]。在饲料中添加适宜的脂肪对蛋白质具有明显的节约作用[8,23]。一般而言，随着饲料脂肪水平的升高，肝脏脂肪含量也会相应增加，这是因为饲料中的高脂可以促进肝脏脂肪数量的增多[24]，使脂肪细胞的体积变大[25]，从而使更多的脂肪被肝脏容纳[26]，最终使肝体比变大。本研究结果表明，饲料脂肪水平对大口黑鲈的肥满度和肝体比没有显著影响，而脂体比随饲料脂肪水平的升高而显著升高，这与上述结论不同，但与黑线鳕(*Melanogrammus aeglefinus* L.)[27]、瓦氏黄颡鱼(*Pelteobaggrus*

vachelli)[28]、大西洋庸鲽(*Atlantic salmon*)[26]等鱼类的研究结果相符，说明大口黑鲈可能将肝脏中过量的脂肪储存在腹腔中[6]，减少肝脏细胞脂肪的储存量。

3.2 饲料脂肪水平对大口黑鲈组织脂肪酸组成的影响

有研究表明，鱼类可以合成单不饱和脂肪酸（MUFA）和SFA，但是亚麻酸(C18:3n-3)和亚油酸(C18:2n-6)作为淡水鱼类的必需脂肪酸，不能被合成，只能通过食物来摄取[29]，MUFA能使低密度脂蛋白含量下降[30]。目前，在鲈鱼(*Atractoscion nobilis*)[31]、杂交罗非鱼[32]的研究中报道，鱼类摄食饲料中的脂肪酸组成会影响鱼类本身的脂肪酸组成。本试验结果表明，大口黑鲈肌肉和肝脏脂肪酸组成受饲料脂肪酸组成的影响，随着饲料脂肪水平的升高，肌肉和肝脏中SFA的比例为下降趋势，PUFA的比例为升高趋势，这与饲料中对应脂肪酸的变化规律有较高的一致性。鱼体脂肪酸中n-3 HUFA/n-6 HUFA是决定水产品质量优劣的重要因素之一，WHO/FAO推荐的水平是在0.1~0.2[33]，在大口黑鲈的试验中，肌肉n-3 HUFA/n-6 HUFA大于WHO/FAO推荐最值，因此大口黑鲈的肌肉营养价值比较高。

大多数研究报告显示，比起EPA，鱼体能积累更多的DHA[26,34-35]。这与本试验所得结果一致，即大口黑鲈肌肉DHA的比例要远远高于EPA的比例。DHA和EPA对鱼类的生长起着重要的作用，Trushenski等[36]指出，军曹鱼需要依靠补充DHA才能满足长链n-3 PUFA的需求，在石斑鱼细胞防御机制中，DHA比EPA更加关键[37]。因此，在大口黑鲈肌肉中DHA的积累量高于EPA有着非常重要的意义。

3.3 饲料脂肪水平对大口黑鲈血清生化指标的影响

鱼类血液生理生化指标与自身的营养状况、代谢及疾病有着紧密关系，当外界环境发生变化时，鱼体受到影响，鱼类在环境应激下的健康状态都会通过血液的生理生化指标反映出来[38]。胆固醇代谢是脂质代谢的重要部分之一，胆固醇主要由肝脏产生，要和脂蛋白结合才能运输[39]，肝脏中的总胆固醇含量升高会影响肝脏细胞的功能。脂蛋白分为高密度脂蛋白和低密度脂蛋白，高密度脂蛋白能将肝脏外的胆固醇送到肝脏分解，而低密度脂蛋白的作用正好相反，将肝脏内的胆固醇输送到各个组织中[40]。在大菱鲆[16](*Psetta maxima*)和团头鲂[41](*Megalobrama amblycephala*)的研究中发现，血液中甘油三酯含量随饲料脂肪水平的升高而升高，说明鱼体为应对高脂饲料，提高了对脂肪的吸收及运输能力。在本试验中，血清中甘油三酯含量随饲料脂肪水平的升高表现出先升高后下降的趋势，这与向枭等[14]在白甲鱼和赵巧娥等[42]在鳡幼鱼上所得结果一致。王兴强等[43]认为，鱼类能够吸收饲料中的脂肪并转化为游离脂肪酸，最后进入肝脏中。因此，当饲料脂肪水平低于11.05%时，大口黑鲈摄食的脂肪量随饲料脂肪水平的升高而变大，使肝脏中游离氨基酸变多，从而使肝脏中合成及向外输送更多的甘油三酯，最终使血清中的甘油三酯含量增多；而饲料脂肪水平高于

17.65%时，大口黑鲈提高了对脂肪的吸收及运输能力，血清中甘油三酯的含量会减少[44]。本试验中，当饲料脂肪水平高于11.05%时，大口黑鲈肝脏脂肪积累增多，导致肝细胞受损，减弱了肝脏合成甘油三酯的能力。

在动物体内，碱性磷酸酶直接参与磷酸基团的代谢和转移，与脂质、蛋白质等代谢有关，同时受到机体生长阶段、营养状况和环境变化及疾病的影响[45]。当动物肝脏受损时，血清的碱性磷酸酶活性会显著升高[46]。本试验中，随着饲料脂肪水平的升高，血清中碱性磷酸酶活性表现为升高的趋势，这与在奥尼罗非鱼[46]上的研究结果基本一致。

3.4 饲料脂肪水平对大口黑鲈肝脏抗氧化指标的影响

SOD和CAT作为生物抗氧化酶的重要组成酶类，可以保护细胞，使其免受过氧化损伤。GSH-Px作为机体中重要的过氧化物分解酶，能把有害的过氧化物还原成无害的羟基化合物，起到保护细胞膜的结构和功能的作用[30]。MDA作为油脂氧化酸败的终产物之一，可以直接用来评价机体的氧化损伤程度[47]。本试验中，肝脏中SOD和CAT的活性随饲料脂肪水平的升高而表现为先升高后下降的趋势，表明一定的饲料脂肪水平可以提高大口黑鲈肝脏中抗氧化酶的活性，从而提高大口黑鲈的抗氧化能力，但是过高的脂肪水平会使肝脏的抗氧化能力减弱。随着饲料脂肪水平的升高时，肝脏中GSH-Px的活性及MDA的含量均表现为下降趋势，这与施兆鸿等[48]在褐菖鲉上的研究结果一致,分析原因可能是由于大口黑鲈在高脂饲料下肝脏中积累了大量的脂肪，导致MDA含量上升，使肝脏细胞受到损伤。

4 结 论

饲料脂肪水平能够影响大口黑鲈的脂肪沉积，改变大口黑鲈组织脂肪酸组成，并且通过影响血清中高密度脂蛋白和低密度脂蛋白的含量，改变大口黑鲈对脂肪的转运和利用的能力，且当饲料脂肪水平超过11.05%时，容易使大口黑鲈的肝功能受损。

参考文献：（24-25条文献引用顺序有误，请核对）

[1] BROWN T G,RUNCIMAN B,POLLARD S,et al.Biological synopsis of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J].Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences,2009,2884:1–27.

[2] 朱志明,朱旺明,蓝汗冰.加州鲈(*Micropterus salmoides*)生物学特性和营养需求研究进展[J].饲料工业,2014,35(16):31–36.

[3] 丁庆秋,陈宇航,曹双俊,等.大口黑鲈的营养需求研究进展[J].养殖与饲料,2013,9(11):38–43.

[4] 刘淑梅,倪信岳.加州鲈不同发育阶段的食性[J].水产科技情报,1996,23(5):225–228.

[5] 李静红,雷光英,李丽雪,等.广东加州鲈产业现状及发展建议[J].水产养殖,2012(9):21–24.

[6] 覃川杰,陈立侨,李二超,等.饲料脂肪水平对鱼类生长及脂肪代谢的影响[J].水产科学,2013,32(8):485–491.

[7] 徐后国.饲料脂肪酸对鲈鱼幼鱼生长、健康及脂肪和脂肪酸积累的影响[D].博士学位论文.青岛:中国海洋大学,2013.

[8] 李爱杰.水产动物营养与饲料学[M].北京:中国农业出版社,1996.

[9] JAFRI A K.Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratio on growth and body composition of walking catfish (*Clarias batrachus*)[J].Aquaculture,1998,161(1/2/3/4):159–168.

[10] TAN Q,XIE S,ZHU X,et al.Effect of dietary carbohydrate to lipid ratios on growth and feed utilization in Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther)[J].Journal of Applied Ichthyology,2007,23(5):605–610.

[11] CHOU B S,SHIAU S Y.Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia,*Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*[J].Aquaculture,1996,143(2):185–195.

[12] 李坚明,甘辉,冯广朋,等.饲料脂肪含量与奥尼罗非鱼幼鱼肝脏形态结构特征的相关性[J].南方水产科学,2008,4(5):37–43.

[13] 池作授,耿旭,郭云学,等.奥尼罗非鱼仔稚鱼饲料中适宜脂肪水平的研究[J].中国饲料,2010(20):32–37.

[14] 向枭,周兴华,陈建,等.饲料脂肪水平对白甲鱼幼生长性能、体组成和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2013,25(8):1805–1816.

[15] SARGENT J R,HENDERSON R J,TOCHER D R.The lipids[M]//HALVER J E.Fish nutrition.London:Academic Press,1989:154–209.

[16] REGOST C,ARZEL J,CARDINAL M,et al.Dietary lipid level,hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*)[J].Aquaculture,2001,193(3/4):291–309.

[17] 梁勤朗.饲料蛋白质水平与必需氨基酸补充对大口黑鲈生长、体组成和免疫力的影响[D].硕士学位论文.上海:上海海洋大学,2012.

[18] 陈乃松,梁勤朗,肖温温,等.在低蛋白质饲料中补充必需氨基酸对大口黑鲈生长、体组成和免疫指标的影响[J].水生生物学报,2014,38(2):262–271.

[19] 周恒永,大口黑鲈对饲料中精氨酸需求量的研究[D].硕士学位论文.上海:上海海洋大学,2011.

[20] 王广军,吴锐全,谢骏,等,大口黑鲈对四种蛋白质饲料原料的表观消化率研究[J].渔业现代化,2008,35(6):36–39.

[21] 王庆萍,方春林.鱼类脂肪需求研究概述[J].江西水产科技,2010(4):7–9.
[22] 蒋阳阳.不同蛋白质、脂肪和糖水平对团头鲂幼鱼生长性能、体组成和生理生化指标的影响[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2012.
[23] DIAS J,ALVREZ M J,DIEZ A,et al.Regulation of hepatic lipogenesis by dietary protein/energy in juvenile European seabass (*Dicentrarchus labrax*)[J].Aquaculture,1998,161(1/2/3/4):169–186.
[24] UMINO T,NAKAGAWA H,ARAI K.Development of adipose tissue in the juvenile red sea bream[J].Fisheries Science,1996,62(4):520–523.
[25] BELLARDI S,BIANCHINI M L,DOMENIS L,et al.Effect of feeding schedule and feeding rate on size and number of adipocytes in rainbow trout *oncorhynchus mykiss*[J].Journal of the World Aquaculture Society,1995,26(1):80–83.
[26] NANTON D A,LALL S P,MCNIVEN M A.Effects of dietary lipid level on liver and muscle lipid deposition in juvenile haddock,*Melanogrammus aeglefinus* L.[J].Aquaculture Research,2001,32(S1):225–234.
[27] HELLAND S J,GRISDALE-HELLAND B.The influence of replacing fish meal in the diet with fish oil on growth,feed utilization and body composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) during the smoltification period[J].Aquaculture,1998,162(1/2):1–10.
[28] 袁立强,马旭洲,王武,等.饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼生长和鱼体色的影响[J].上海水产大学学报,2008,17(5):577–584.
[29] 吉红,田晶晶.高不饱和脂肪酸(HUFAs)在淡水鱼类中的营养作用研究进展[J].水产学报,2014,38(9):1650–1665.
[30] 黄文文,李弋,周岐存.不同品质鱼粉对黄颡鱼幼鱼生长性能、饲料利用及肝脏抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3744–3753.
[31] LÓPEZ L M,DURAZO E,VIANA M T,et al.Effect of dietary lipid levels on performance,body com position and fatty acid profile of juvenile white seabass,*Atractoscion nobilis*[J].Aquaculture,2009,289(1/2):101–105.
[32] HUANG C H,HUANG M C,HOU P C.Effect of dietary lipids on fatty acid com position and lipid peroxidation in sarcoplasm ic reticulum of hybrid tilapia,*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology,1998,120(2):331–336.

[33] 何志刚,刘文革,伍远安,等.饲料脂肪水平对芙蓉鲤鲫形体指标、组织脂肪含量与脂肪酸组成的影响[J].饲料研究,2016(6):36–41.

[34] XU J H,QIN J,YAN B L,et al.Effects of dietary lipid levels on growth performance,feed utilization and fatty acid composition of juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) reared in seawater[J].Aquaculture International,2011,19(1):79–89.

[35] MARTINS D A,VALENTE L M P,LALL S P.Effects of dietary lipid level on growth and lipid utilization by juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*,L.)[J].Aquaculture,2007,263(1/2/3/4):150–158.

[36] TRUSHENSKI J,SCHWARZ M,BERGMAN A,et al.DHA is essential,EPA appears largely expendable,in meeting the n-3 long-chain polyunsaturated fatty acid requirements of juvenile cobia Rachycentron canadum [J].Aquaculture,2012,326/327/328/329:81–89.

[37] LIN Y H,SHIAU S Y.Dietary lipid requirement of grouper,*Epinephelus malabaricus*,and effects on immune response[J].Aquaculture,2003,225(1/2/3/4):243–250.

[38] DJANGMAH J S.The effects of feeding and starvation on copper in the blood and hepatopancreas,and on blood proteins of *Crangon vulgaris* (Fabricius)[J].Comparative Biochemistry and Physiology,1970,32(4):709–731.

[39] 周顺伍.动物生物化学[M].3 版.北京:中国农业出版社,2001:126–127.

[40] DEPLANO M,CONNESR,DIAZJ P,et al.Intestinal steatosis in the farm-reared sea bass Dicentrarchus labrax[J].Diseases of Aquatic Organisms,1989,6:121−130.

[41] LI X F,LIU W B,JIANG Y Y,et al.Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings[J].Aquaculture,2010,303(1/2/3/4):65–70.

[42] 赵巧娥,朱邦科,沈凡,等.饲料脂肪水平对鳜幼鱼生长、体成分及血清生化指标的影响[J].华中农业大学学报,2012,31(3):357–363.

[43] 王兴强,段青源,麦康森,等.养殖鱼类脂肪肝研究概况[J].海洋科学,2002,26(7):36–39.

[44] LIN D,MAO Y Q,CAI F S.Nutritional lipid liver disease of grass carp *Ctenopharyngodon idullus* (C. et V.)[J].Chinese Journal of Oceanology and Lim nology,1990,8(4):363–373.

[45] 徐奇友,许红,李婵,等.用豆油代替鱼油对虹鳟生长、非特异性免疫和组织酶活性的影响[J].大连水产学院学报,2009,24(2):104–108.

[46] 甘晖,李坚明,冯广朋,等.饲料脂肪水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长和血浆生化指标的影响[J].上海海洋大学学报,2009,18(1):35–41.

[47] 文远红,黄燕华,王国霞,等.蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼抗氧化指标、消化酶活性及前肠、肝胰脏组织结构的影响[J].饲料工业,2015,36(4):29–35.

[48] 施兆鸿,岳彦峰,彭士明,等.饲料脂肪水平对褐菖鲉血清生化指标、免疫及抗氧化酶活力的影响[J].中国水产科学,2013,20(1):101–107.

Effects of Dietary Lipid Level on Morphology Indexes, Tissue Fatty Acid Composition, Serum Biochemical Indexes and Liver Antioxidant Indexes of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*)

ZHU Tingting JIN Min SUN Peng LI Chenchen MA Hongna LUO Jiaxiang YUAN Ye ZHOU Qicun*

(*Laboratory of Fish Nutrition*, *School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo* 315211, *China*)

Abstract: An 8-week feeding trial was conducted to evaluate the effects of dietary lipid level on morphology indexes, tissue fatty acid composition, serum biochemical indexes and liver antioxidant indexes of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). Three experimental diets were prepared, in which fish oil, soybean oil and soybean lecithin were used as lipid sources, and the lipid levels of three experimental diets were 5.76%, 11.05% and 17.65%, respectively. A total of 270 juvenile largemouth bass with an initial body weight of (4.12±0.02) g were randomly divided into 3 groups with 3 replicates per group and 30 largemouth bass for each replicate. The results showed as follows: 1) dietary lipid level had no significant effects on condition factor (CF) and hepatosomatic index (HSI) of largemouth bass (P>0.05); the intraperitoneal fat ratio (IPF) was increased with the dietary lipid level increasing, and it in 17.65% fat group was significantly higher than that in 5.76% lipid group (P<0.05); the viscerasomatic index (VSI) was firstly increased and then decreased with the dietary lipid level increasing, ant the 11.05% lipid group had the highest value, which was significantly higher than that in 5.76% and 17.65% lipid groups (P<0.05). 2) The proportions of polyunsaturated fatty acids (PUFA) and n-3 high unsaturated fatty acids (HUFA) in muscle of largemouth bass in 5.76% lipid group were significantly lower than those in 11.05% and 17.65% lipid groups (P<0.05), but the n-3 HUFA/n-6 HUFA was significantly higher than that in

*Corresponding author, professor, E-mail: zhouqicun@nbu.edu.cn (责任编辑 菅景颖)

11.05% and 17.65% lipid groups (*P*<0.05). The proportion of n-3 HUFA in liver of largemouth bass in 5.76% lipid group was significantly higher than that in 17.65% lipid group (*P*<0.05), and the n-3 HUFA/n-6 HUFA was significantly higher than that in 11.05% and 17.65% lipid groups (*P*<0.05), but the proportion of n-6 HUFA was significantly lower than that in 11.05% and 17.65% lipid groups (*P*<0.05). 3) When dietary lipid level increased from 5.76% to 11.05% or 17.65%, the activity of alanine aminotransferase (ALT) and the contents of total cholesterol (TC), high-density lipoprotein (HDL) and low-density lipoprotein (LDL) in serum of largemouth bass were significantly increased (*P*<0.05), and the alanine transaminase activity was significantly decreased (*P*<0.05), but the differences in those indexes were not significant between 11.05% and 17.65% lipid groups (*P*>0.05). The triglyceride (TG) content in serum of largemouth bass in 11.05% lipid group was significantly higher than that in 5.76% and 17.65% lipid groups (*P*<0.05). 4) The activity superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-Px), alkaline phosphatase (AKP) and alkaline phosphatase (ALP) and the content of malondialdehyde (MDA) in liver of largemouth bass were not significant affected by dietary lipid level (*P*>0.05). The activity of catalase (CAT) in liver of largemouth bass in 11.05% lipid group was significantly higher than that in other two groups (*P*<0.05), while the activity of aspartate transaminase (AST) in liver of largemouth bass in 17.65% lipid group was significantly higher than that in other two groups (*P*<0.05). In conclusion, dietary lipid level can affect the lipid deposition of largemouth bass, alter the fatty acid composition in tissues, and change the ability of lipid transport and utilization by affecting the HDL and LDL contents in serum,

Key words: largemouth bass (*Micropterus salmoides*); lipid level; morphology indexes; tissue fatty acid composition; serum biochemical indexes; antioxidant indexes